

はんだミニチュア材の強度試験技術

試験片寸法が結晶粒や析出物等の微視組織単位に近くなると、材料の機械的特性は従来のバルク試験片(大きな試験片)のそれとは異なってくる。そのため実装電子部品等の微小部品の強度信頼性設計用データベースは実寸法で評価することが望ましい。当社では近年、低荷重の試験が可能な疲労試験装置を導入し、サブミリサイズのはんだ試験片を用いた引張、疲労、クリープ特性評価技術を確認した。本講では、本装置を用いて各種鉛フリーはんだの機械的特性について調査し、これらの特性に及ぼす組織、組成、温度、歪速度効果等を評価したので報告する。



技術本部
エンジニアリングメカニクス事業部
強度技術部
横幕 俊典

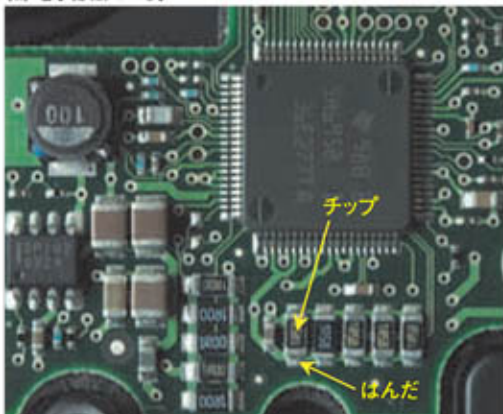
A-1 ミニチュア材試験の必要性と当社の試験設備について

実装部品のはんだ接合部には構成部材であるSi、樹脂、はんだ等の熱膨張率の差異に起因して、稼働中の温度変動による熱応力が繰り返されるため熱疲労破壊が問題になることがある。とくにはんだは融点が低く使用温度が常温付近であってもクリープの影響が現れるため、設計においてはこの点を考慮する必要がある。

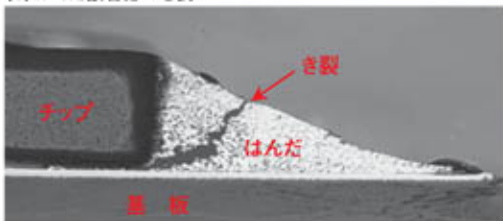
第1図に示すチップ部品等のはんだ寸法はサブミリであるが、これまで設計に必要な疲労特性やクリープ特性は、直径が10mm程度のバルク試験片を用いて評価されてきた(日本材料学会標準: はんだのクリープ疲労試験法標準JSMS-SD-9-04参照)。

第1図 電子部品はんだ接合のき裂の例

(a) 電子部品の一例



(b) はんだ接合部のき裂



しかし、サブミリ寸法になるとはんだでは凝固によって形成された結晶粒径と同等寸法になり、また結晶粒内の析出相の量や大きさの影響を受けて、変形やき裂進展機構がバルク試験片と異なる可能性がある。このような観点から当社では第2図に示す微小荷重試験装置を導入し、微小試験技術の確立とデータベースの取得に取り組んできた。

本装置の仕様は以下のとおりである。

- (1) 荷重容量および変位
 - ・荷重: ± 200 N (動的 ± 170 N)
 - ・変位: ± 20 mm
 - ・最大速度: ± 10 mm/s
- (2) 制御方式 リニアサーボ方式
- (3) 温度 $-65^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$
- (4) 非接触伸び計(静電容量式)
 - ・直線範囲: ± 0.5 mm
 - ・分解能: ± 0.1 μm

本装置を用いて以下の試験が可能である。

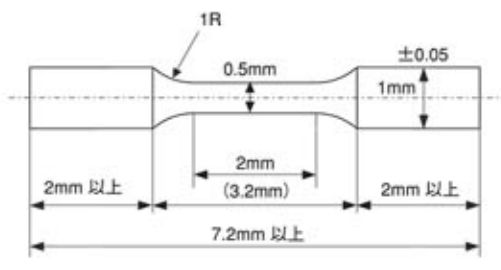
- ・引張試験
- ・高サイクル疲労試験 (5Hz程度)
- ・低サイクル疲労試験 (0.001%/sec以上)
- ・クリープ試験
- ・スモールパンチ試験

第3図に標準丸棒試験片形状を示す。本試験片は平行部直径が 0.5 mm ϕ である。

第2図 微小荷重疲労試験装置



第3図 引張、疲労試験片(丸棒タイプ)の例

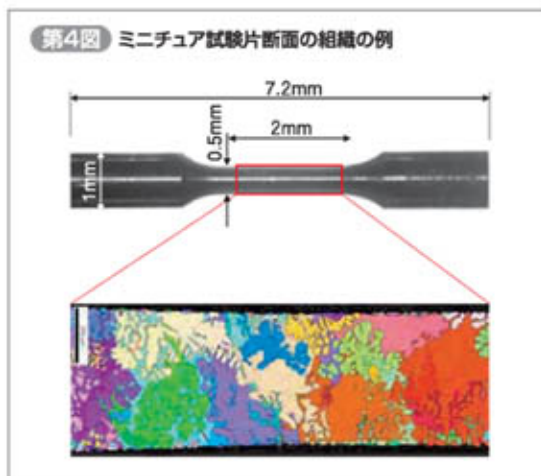


A-2 引張特性

鉛フリーはんだでもっとも代表的なSn-3Ag-0.5Cuはんだについて、以下の2種類の寸法の鋳込み材および1.2mmφのワイヤから切り出した種々の試験片寸法について引張特性を比較した。

材料A：25mmφ丸棒鋳込みはんだ
 材料B：6mm×20mm板状鋳込みはんだ
 材料C：1.2mmφワイヤーはんだ

一例として第4図に材料Bから採取したミニチュア試験片（直径0.5mmφ）の平行部断面の組織（EBSPによる方位マップ）を示す。微小寸法であるため断面上の結晶粒の数はきわめて少なく、径方向には2個以下となっている。

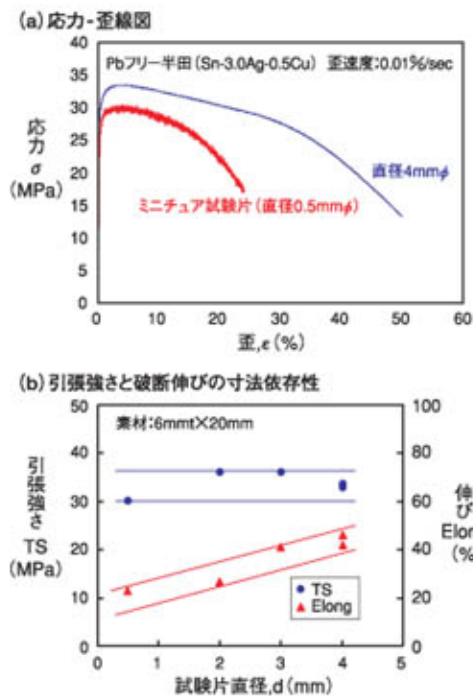


第4図 ミニチュア試験片断面の組織の例

第5図(a)に材料Bについて平行部直径4mmφと0.5mmφの試験片の常温、歪速度0.01%/secにおける応力-歪線図を比較した。また同図(b)に引張強さと破断伸びの寸法依存性を示した。これらの図より引張強さについては寸法依存性はあまりないが、伸びについては寸法が小さくなるほど大きく減少している。これは断面上の結晶粒の減少にともなう延性低下と思われる。

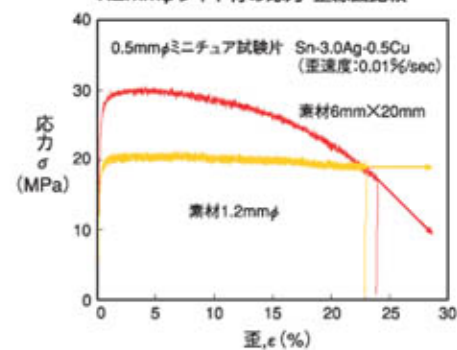
なおB材では0.5mmφの引張強度（n=1）がバルク材より若干低い傾向が認められた（第5図）。A材については図示していないが、B材とは逆に0.5mmφの方が若干引張強さが高い結果（n=1）になったことから、ミニチュア材については採取位置による組織の差異などの影響を受けて強度のばらつきが大きいことが示唆される。

第5図 ミニチュア試験片とバルク試験片の引張特性の比較(B材)



次に材料Bと材料Cについて同一形状のミニチュア試験片（0.5mmφ）の応力-歪線図を第6図に比較した（約20%で停止させた）。C材（1.2mmφワイヤー材）では引張強さが大きく低下し、一方破断伸びは増大した。以上のように同じ組成でも素材寸法や製造履歴の差異にともなう微視組織の違いによって大きく機械的性質が異なることが明らかになった。そのため実部品のはんだ接合部の評価に際してはできるだけ同等の微視組織を再現した材料で評価すべきことが理解される。

第6図 同一ミニチュア試験片形状によるバルク鋳込材と1.2mmφワイヤ材の応力-歪線図比較



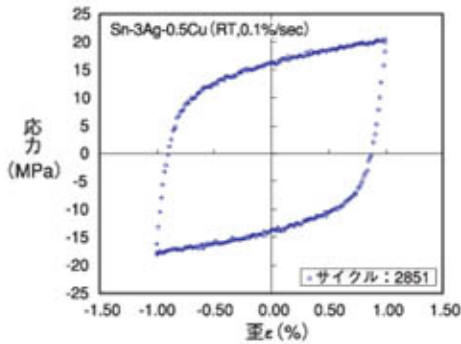
A-3 低サイクル疲労特性

素材形状が同一の1.2mmφのワイヤー材を用いて従来のSn-37Pb共晶はんだと、代表的な4種類のPbフリーはんだ（Sn-5Sb, Sn-3.5Ag, Sn-3.5Ag-0.5Cu）

について、第3図の試験片を用いて低サイクル疲労特性を評価した。第7図に全歪範囲2%の応力-歪ヒステリシスループを示す。非常に良好な応力-

歪データが得られていることがわかる。

第7図 ミニチュア試験片の低サイクル疲労試験における応力-歪ヒステリシスループ



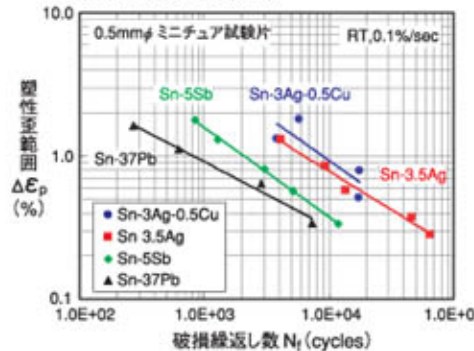
第8図に塑性歪範囲 $\Delta \epsilon_p$ と寿命 N_f の関係を示す。これよりはんだのような低融点材料においても一般的な金属材料と同様にManson-Coffin則 ($\Delta \epsilon_p = A \times N_f^{-\alpha}$) が成立し、指数 α も $-0.45 \sim -0.65$ とごく一般的な値であった。疲労寿命の順位はSn-37Pb < Sn-5Sb < Sn-3.5Ag < Sn-3Ag-0.5Cuであり、低サイクル疲労の観点からはSn-3Ag-0.5Cuがもっとも優れていることがわかった。

低サイクル疲労特性には温度および歪速度依存性が現れた。低温から100℃付近では温度上昇と

ともに寿命が増大したが、これは温度上昇による延性の増大効果によるものと考えられる。しかし100℃以上になると延性増大による正の効果よりも、逆にクリープ損傷による負の影響が現れ寿命低下が起きた。また、歪速度が低下することによっても非弾性歪成分中のクリープ成分が大きくなり疲労寿命が低下した。

以上のように疲労寿命は温度、歪速度の影響を強く受けるため、強度設計に際しては実働条件をじゅうぶん考慮して適切な試験条件でデータベースを取得する必要がある。

第8図 各種はんだの低サイクル疲労寿命線図 (塑性歪範囲-寿命線図)



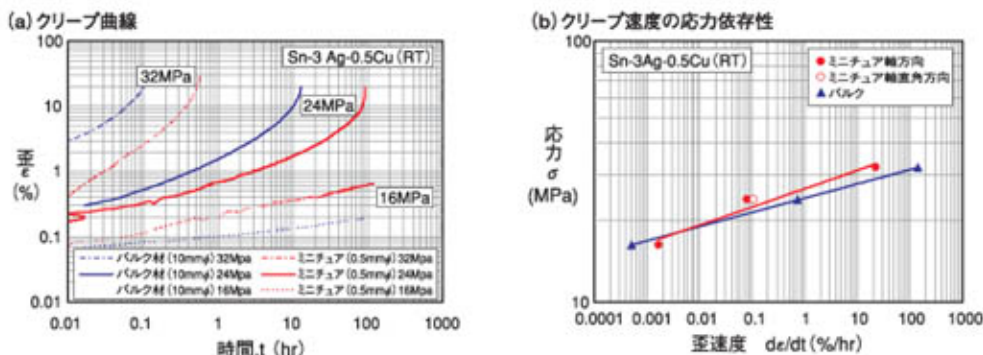
A-4 クリープ特性

はんだは融点が低く、常温付近でもクリープによる変形や損傷が問題になる。最近では強度設計において有限要素法等の数値解析が活用され、クリープを考慮した強度設計も容易になってきた。そのためにはクリープ破断強度 (応力-破断時間線図) 以外に、応力や変形解析のための温度毎のクリープ速度 ($d\epsilon/dt$) の応力依存性を取得する必要がある。

第9図 (a) に前記A材のSn-3Ag-0.5Cuについて

常温におけるクリープ曲線を示す。図中青色で示すミニチュア材 (0.5mmφ) が赤色のバルク材 (10mmφ) にくらべてクリープ曲線が上に来る場合と下に来る場合とがあるが、これは前記の引張強度と同じくミニチュア材の採取位置によるばらつきを示すものと思われる。第9図 (b) に示すようにバルク試験片とミニチュア試験片はおおむね同じクリープレートを示していると判断される。

第9図 ミニチュア試験片とバルク試験片のクリープ特性の比較



上記のとおり微小試験は電子部品の強度信頼性評価に非常に有用であるが、経年プラント・機械、市場回収自動車等から採取した微小な試験片を用いて、劣化の程度を把握したり余寿命を診断したりするのに適用できる。また溶接部等、組織の異

なる部位の強度特性が可能であるなど今後その応用分布が広がっていくと期待できる。

(共著: 技術本部 エンジニアリング事業部 強度技術部 解析技術室 中本久志/技術本部 エンジニアリング事業部 強度技術部 材料実験技術室 原田晋吾)